

УДК 538.971

**ОСОБЕННОСТИ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СЛОЯХ Zr/Nb**А. Ломыгин¹, К. Siemek²Научный руководитель: к.т.н. Р.С. Лаптев¹¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Объединенный институт ядерных исследований,

Россия, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, 141980

E-mail: lomyginanton141@gmail.com

**CHARACTERISTICS OF THE ANNIHILATION OF POSITRONS IN NANOSIZED METAL
COATINGS Zr/Nb**A. Lomygin¹, K. Siemek²Scientific Supervisor: Ph.D. R.S. Laptev¹¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050²Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Dubna, Joliot-Curie St., 6, 141980

E-mail: lomyginanton141@gmail.com

Abstract. *New technologies for producing structural materials that are resistant to hydrogen and radiation damage are pressing problems in materials science. Hydrogen damage and radiation degradation are important factors limiting the fatigue life of structural materials. One promising alternative in developing radiation-hydrogen-resistant materials with improved physical and mechanical properties is the application of nanoscale metal coatings (NMC). The current work is devoted to studying positron annihilation in NMC Zr/Nb with different thicknesses of individual layers, Zr and Nb.*

Введение. Наноразмерные многослойные покрытия (НМП) все чаще используются в энергетике, электронике, машиностроении, оптике, биотехнологиях и других отраслях промышленности. Причиной этого является возможность значительного изменения физико-механических свойств и коррозионной стойкости конструкционных материалов. Изменения толщины и состава слоев могут привести к повышению прочности, твердости и формированию нанокомпозита с широким спектром функциональных назначений. Наибольшее структурное несоответствие кристаллических решеток имеют гексагонально-кубические системы (ГПУ/ОЦК и ГПУ/ГЦК). Кроме того, системы ГПУ/ОЦК имеют потенциал для создания радиационно-стойких композитов. Большое расхождение позволяет некогерентным и полуккогерентным границам систем ГПУ/ОЦК быть эффективным поглотителем радиационных дефектов и барьером для распространения дислокаций во время деформации, как показано в последних исследованиях [1, 2].

Целью данной работы был сравнительный анализ особенностей аннигиляции позитронов в монослоях Zr, Nb, а также в НМП Zr/Nb с различной толщиной индивидуальных слоев.

Материалы и методы. Образцы были исследованы с помощью спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) с использованием переменной энергии позитронов в ОИЯИ ЛЯП в г. Дубна. Использовался моноэнергетический пучок позитронов диаметром 5 мм с интенсивностью $106 \text{ е+}/\text{с}$. Энергия позитронов варьировалась от 0,1 кэВ до 30 кэВ. Аннигиляционное γ -излучение регистрировалось детектором HPGe с энергетическим разрешением 1,20 кэВ, интерполированным для энергии 511 кэВ. Полученные спектры ДУАЛ были проанализированы путем оценки параметров S и W аннигиляционной линии, а также графического представления R параметра как функции $S=f(W)$.

Результаты. На рисунке 1 изображена зависимость S, W параметра от энергии позитронов для НМП Zr/Nb со средней толщиной слоев $100 \pm 10 \text{ нм}$, $50 \pm 5 \text{ нм}$, а также монослойные покрытия Zr и Nb.

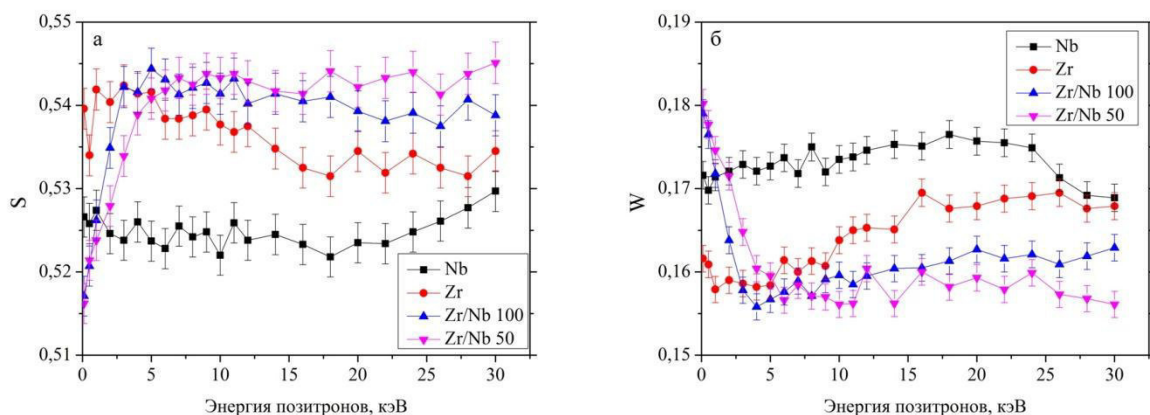


Рис. 1. График зависимости S параметра (а) и W параметра (б) от энергии позитронов НМП Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев $100 \pm 10 \text{ нм}$ и $50 \pm 5 \text{ нм}$, а также монослойных покрытий Zr и Nb

На рисунке 2 изображена зависимость S, W параметра от энергии позитронов для НМП Zr/Nb со средней толщиной слоев $25 \pm 2 \text{ нм}$, $10 \pm 1 \text{ нм}$, а также монослойные покрытия Zr и Nb.

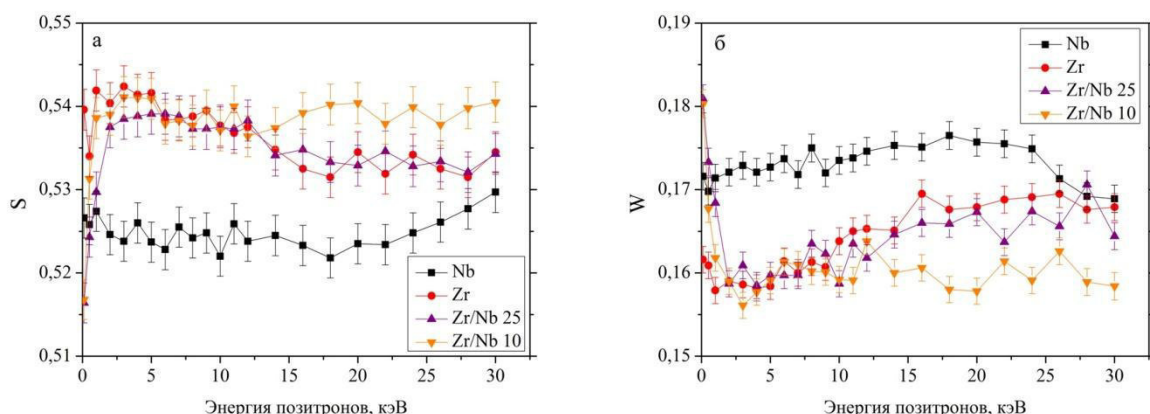


Рис. 2. График зависимости S параметра (а) и W параметра (б) от энергии позитронов для НМП Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев $25 \pm 2 \text{ нм}$ и $10 \pm 1 \text{ нм}$, а также монослойных покрытий Zr и Nb

Анализируя полученные кривые на рисунках 1 и 2, можно сделать вывод, что параметры S и W НМП Zr/Nb по значениям ближе к параметрам монослойного покрытия Zr. Из графиков видно, что при толщинах менее 100 нм, практически все позитроны аннигилируют в окрестности Zr, за счет

селективного захвата позитронов, поскольку в этом случае длина диффузии позитронов (~ 50 нм) превышает либо сопоставима с толщиной индивидуальных слоев, а сродство позитронов к Zr больше, чем к Nb на 26 %. На рисунке 3 изображена зависимость S параметра от W параметра НМП Zr/Nb и монослойных покрытий Zr и Nb.

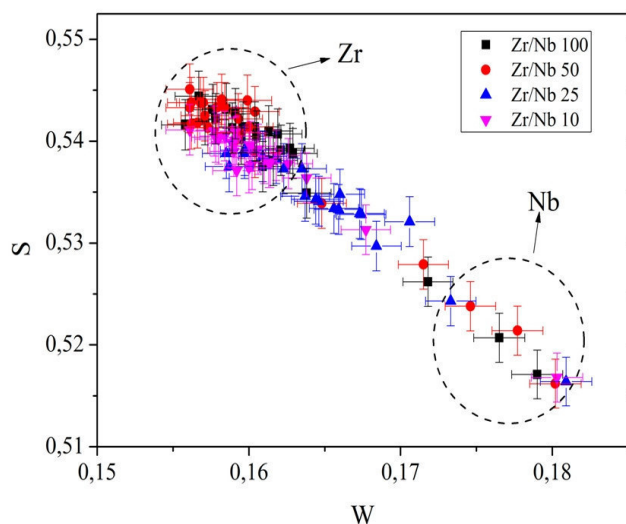


Рис. 3. График зависимости S параметра от W параметра для НМП Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев 100 ± 10 нм, 50 ± 5 нм, 25 ± 2 нм, 10 ± 1 нм

Как видно из рисунка 3, все экспериментальные значения лежат на прямой линии, что свидетельствует об одном преобладающем типе захвата позитронов, а именно вблизи границы.

Закключение. Послойный анализ аннигиляции позитронов в НМП Zr/Nb показал, что увеличение толщины индивидуальных слоев приводит к изменению аннигиляционных параметров. Если толщина индивидуального слоя в НМП Zr/Nb меньше или равна длине диффузии позитронов, то позитроны преимущественно аннигилируют вблизи Zr на границы раздела. Увеличение толщины монослоев до 100 нм, приводит к увеличению вероятности аннигиляции позитронов в области Nb.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10343).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Callisti M., Lozano-Perez S., Polcar T. Structural and mechanical properties of γ -irradiated Zr/Nb multilayer nanocomposites // Materials Letters. – 2016. – Vol. 163. – P. 138-141.
2. Laptev R. et al. Effect of Proton Irradiation on the Defect Evolution of Zr/Nb Nanoscale Multilayers // Metals. – 2020. – Vol. 10., №. 4. – P. 535.